

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Кант
Научно-исследовательский институт
прикладной информатики и математической геофизики

Распределенная обработка спутниковых радиолокационных данных

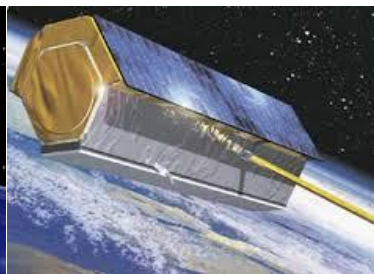
Филатов А.В.

Москва, 14-18 ноября 2016

Актуальность

- Ускорение процесса обработки многопроходной радиолокационной съемки по методу интерферометрии постоянных отражателей
- Применение метода SqueeSAR для оценки смещений распределенных отражателей
- Исследование и разработка метода обнаружения локальных короткопериодичных деформаций

Увеличение объемов радиолокационных данных



ERS-1,2, ENVISAT

ALOS, ALOS-2

TerraSAR-X,
Cosmo-SkyMed

RADARSAT-2

Sentinel-1A/B
TOPSAR

Image Mode

Fine Mode

StripMap

Ultra-Fine

Interferometric
Wide

Размер сцены
100x100км

Размер сцены
70x70км

Размер сцены
50x40км

Размер сцены
125x125км

Размер сцены
180x250км

Размер пиксела
4 x 8 m

Размер пиксела
5 x 9 m

Размер пиксела
6 x 2.7 m

Размер пиксела
3 x 2.5 m

Размер пиксела
13 x 6 m

Размер кадра
25000 x 12500 pix

Размер кадра
21000 x 10000 pix

Размер кадра
29507 x 16926 pix

Размер кадра
41636 x 27433 pix

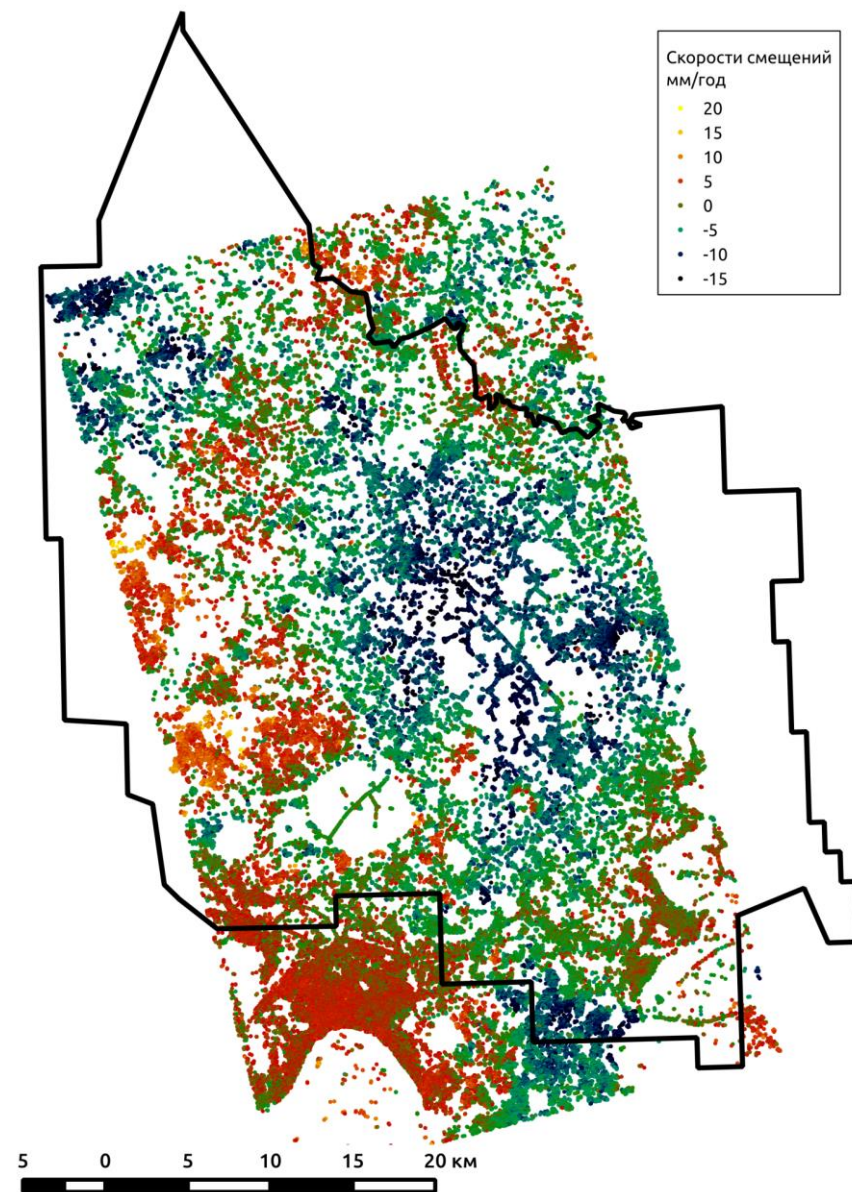
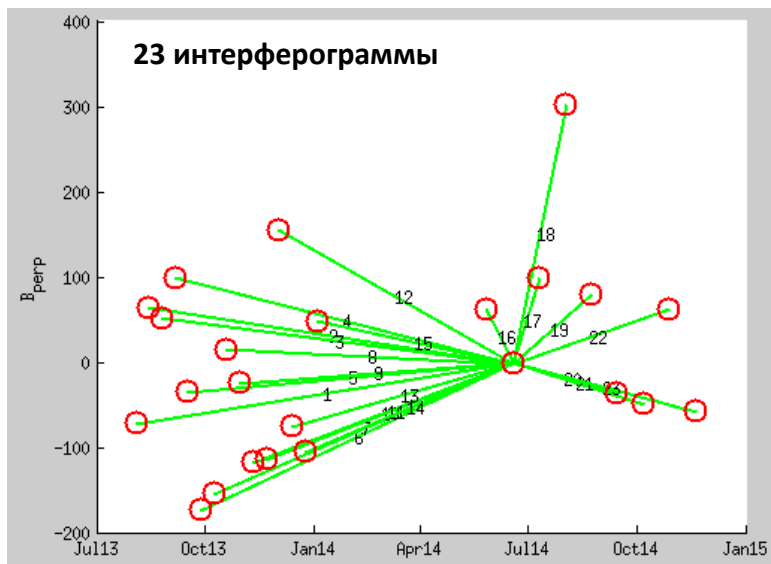
Размер кадра
13167 x 67251 pix

Обработка многопроходной съемки (PSInSAR, StaMPS, SBAS)

PSInSAR – Permanent Scatterers InSAR

StaMPS/MTI – Stanford Method for Persistent Scatterers / Multi-Temporal Interferometry

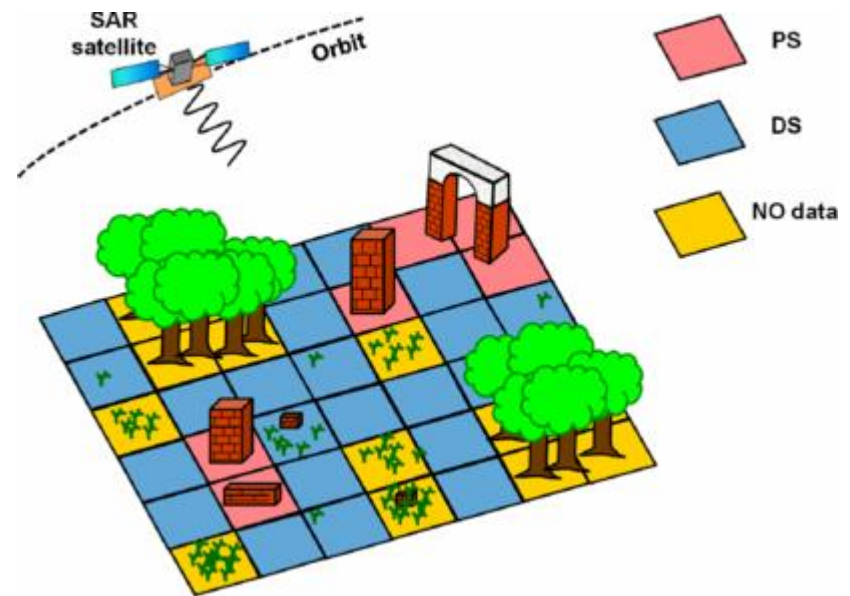
SBAS – Small BAselines Subset



SqueeSAR™

1. DespeckS – выбор множества однородных пикселей на основе критерия согласия Колмогорова-Смирнова

2. PTA (Phase Triangulation Algorithm) – исследование матрицы когерентностей и расчет фазы на основе критерия максимального правдоподобия и метода оптимизации BFGS (Broyden – Fletcher – Goldfarb – Shanno)



$$d(P) = [d_1(P), d_2(P), \dots, d_{K+1}(P)]^T$$

$$\Gamma = \frac{1}{N_\Omega} \sum_{P \in \Omega} d(P)d(P)^H$$

$K+1$ – количество РЛИ

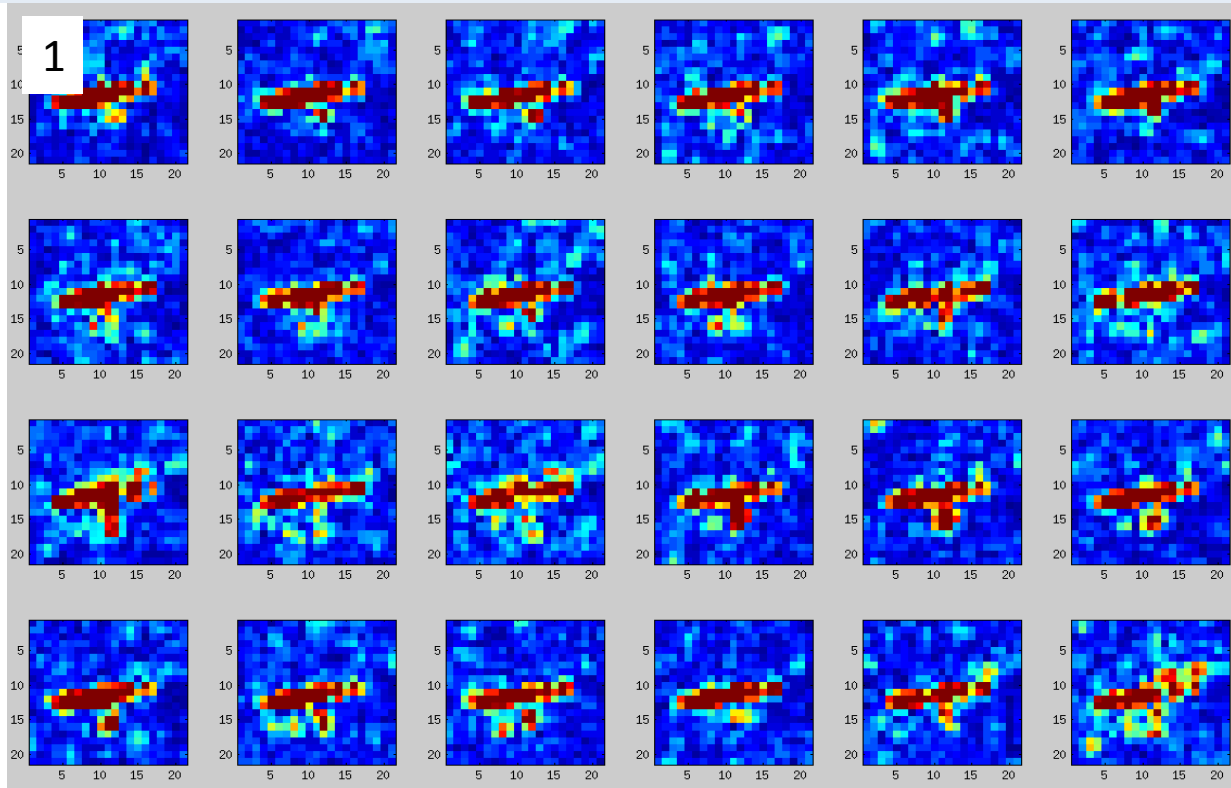
$d_i(P)$ – пиксел РЛИ

Ω - множество однородных пикселей

N_Ω - число пикселей в множестве

Γ – матрица когерентностей

SqueeSAR™ : исследование матрицы когерентностей

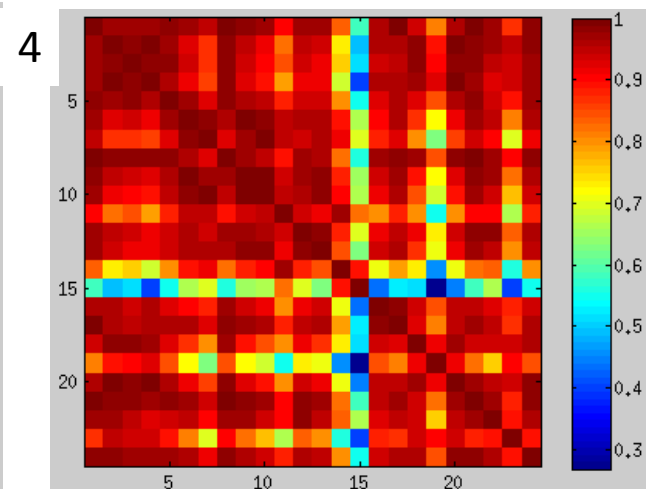
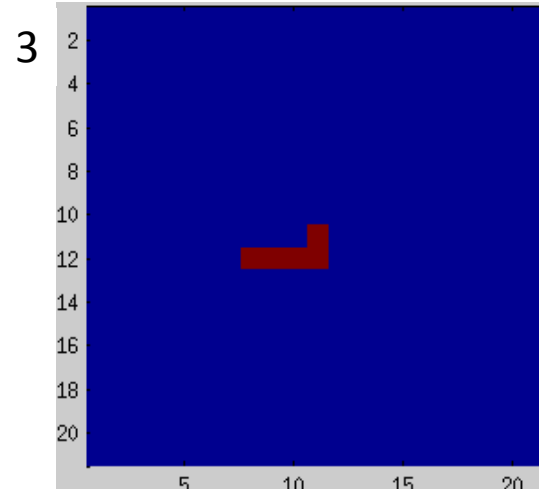
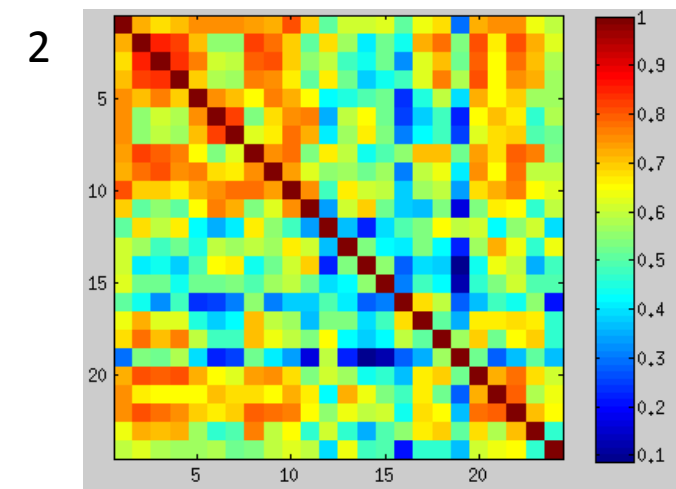


1) 24 РЛИ TerraSAR-X: размер 21x21 пиксел, отражение от здания

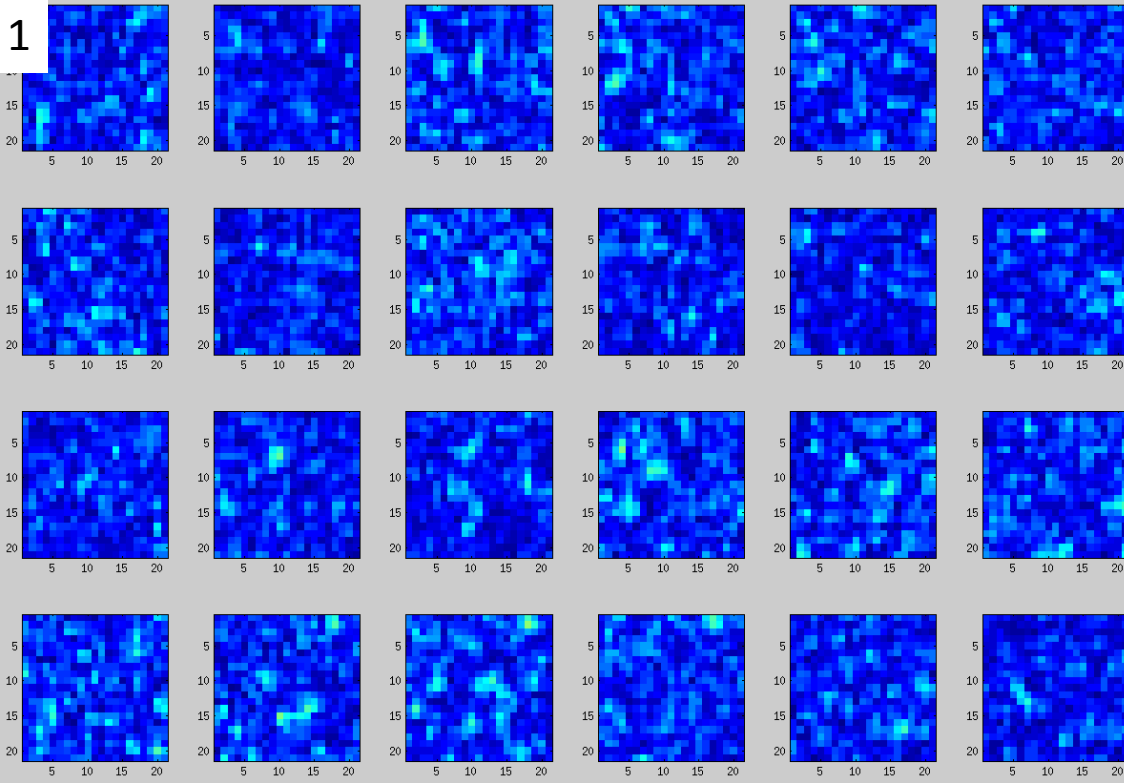
2) Матрица когерентностей для всех пикселов

3) Множество однородных пикселов по критерию согласия Колмогорова-Смирнова

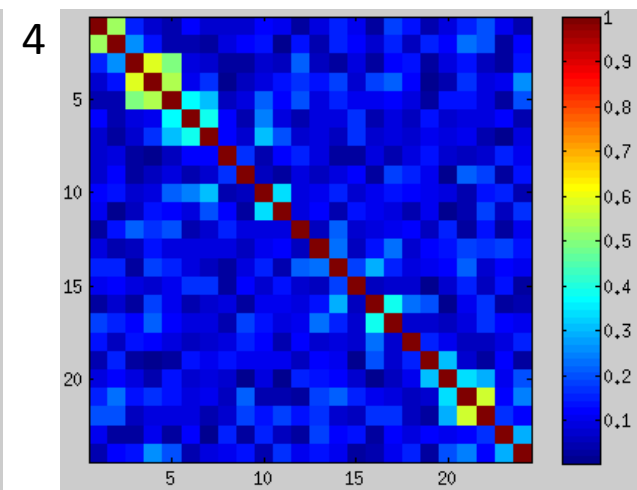
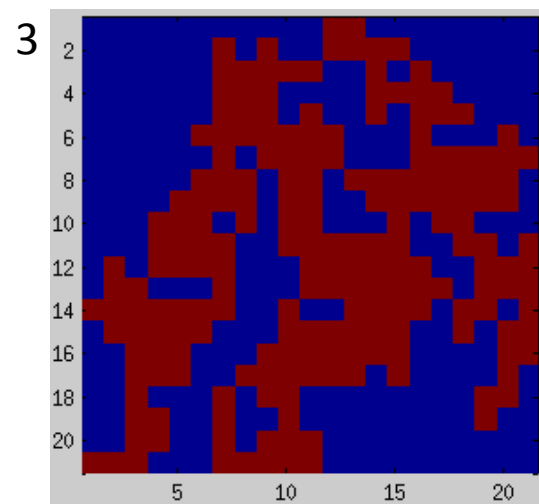
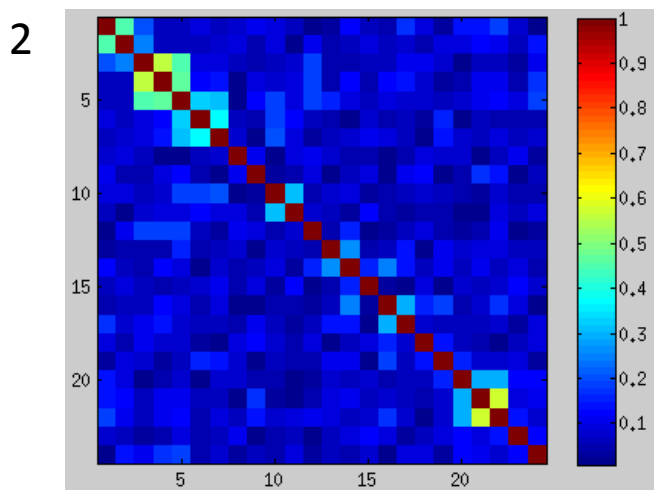
4) Матрица когерентностей для множества однородных пикселов



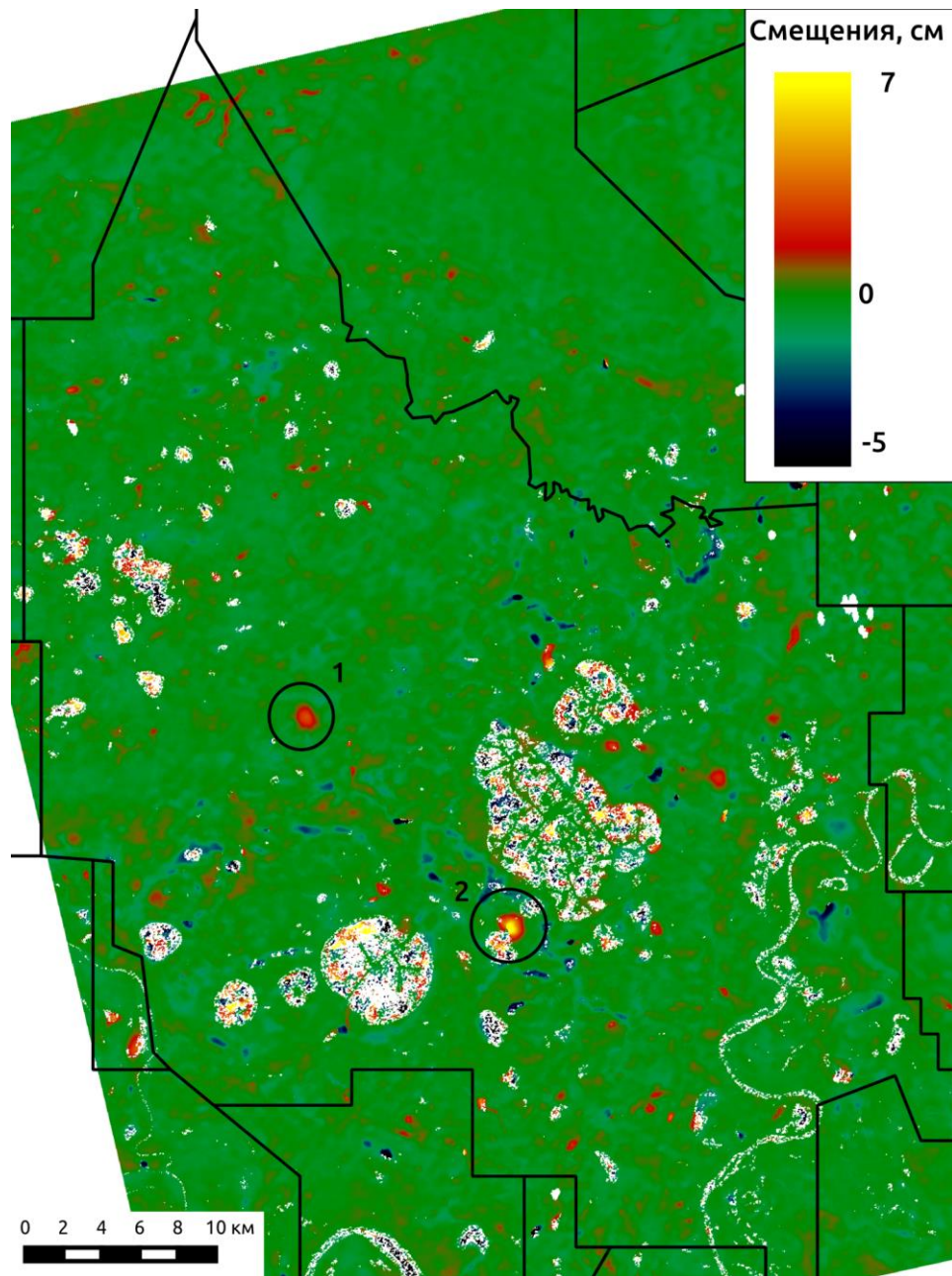
SqueeSAR™ : исследование матрицы когерентностей



- 1) 24 РЛИ TerraSAR-X: размер 21x21 пиксел, отражение от природных ландшафтов
- 2) Матрица когерентностей для всех пикселов
- 3) Множество однородных пикселов по критерию согласия Колмогорова-Смирнова
- 4) Матрица когерентностей для множества однородных пикселов



Метод локальных короткопериодичных деформаций

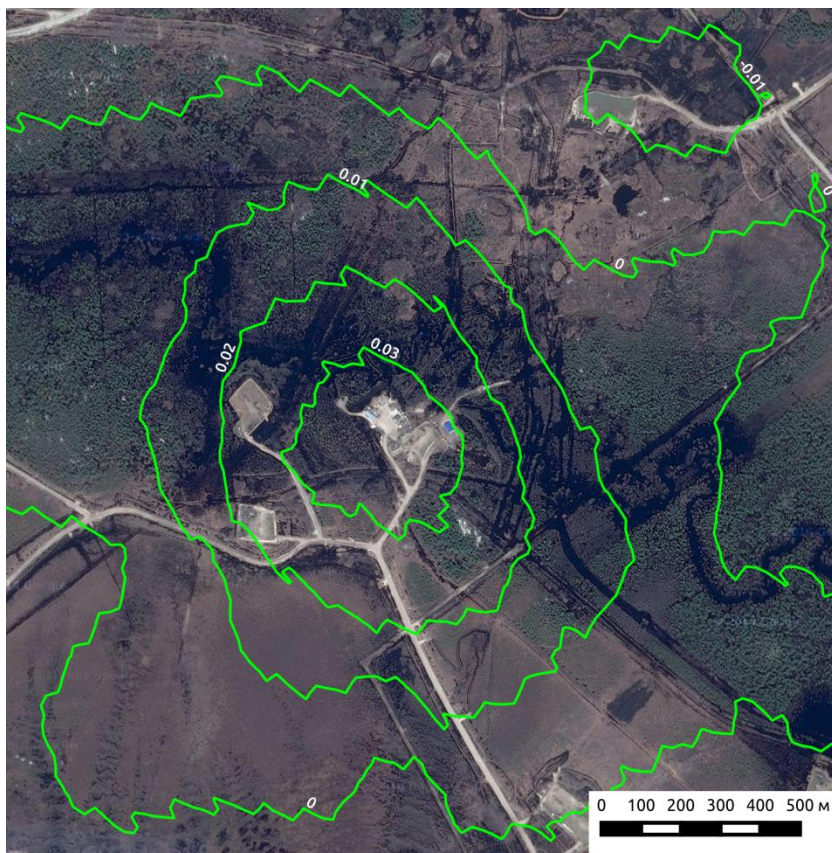


Локальные деформации земной поверхности на территории Самотлорского месторождения за период с 17.08.2015 по 14.09.2015 по результатам интерферометрической обработки радарных данных ALOS-2

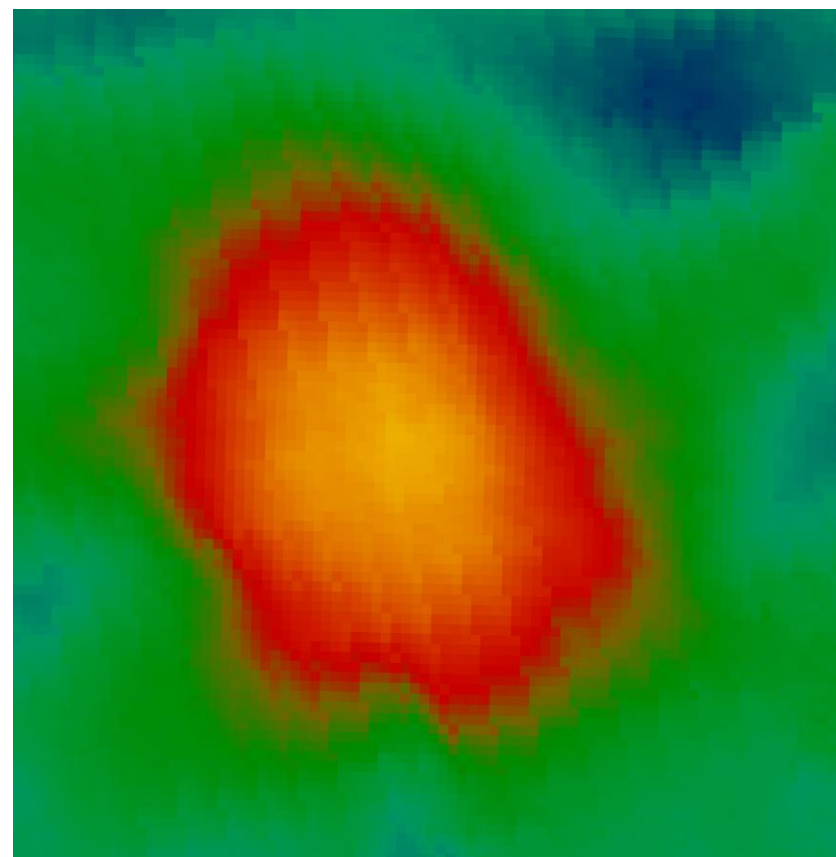
Карта деформаций по результатам дифференциальной интерферометрии разделена на низкочастотную и высокочастотную компоненты при помощи усредняющего фильтра

Вычитание низкочастотной составляющей также устраняет влияние атмосферной компоненты интерферометрической фазы

Метод локальных короткопериодичных деформаций



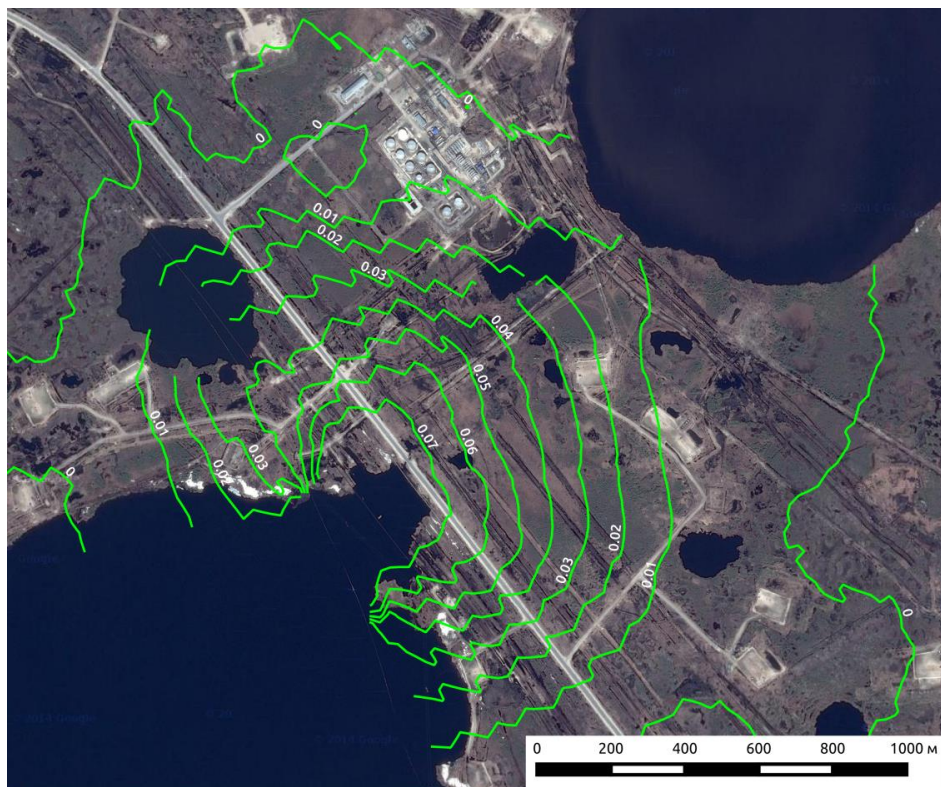
Оптический снимок с нанесенными
изолиниями



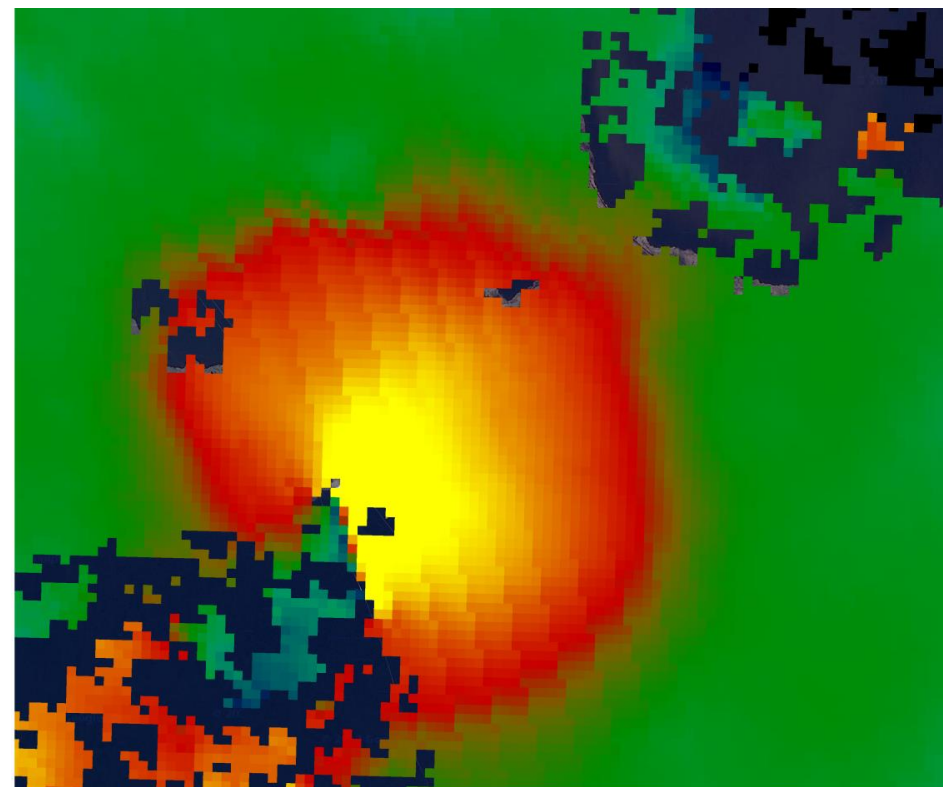
Деформация земной поверхности

Локальное поднятие земной поверхности на территории Самотлорского месторождения в зоне расположения кустовой площадки 633 по результатам обработки данных ALOS-2 (17.08.2015 – 14.09.2015)

Метод локальных короткопериодичных деформаций



Оптический снимок с нанесенными
изолиниями



Деформация земной поверхности

Локальное поднятие земной поверхности на территории Самотлорского месторождения около ДНС-28 по результатам обработки данных ALOS-2 (17.08.2015 – 14.09.2015).

Задачи

- Реализовать параллельное исполнение базовых алгоритмов матричных вычислений с использованием доступных ресурсов одного вычислительного узла
- Разработать и реализовать технологию распределения обрабатываемых данных между несколькими узлами, работающими под управлением разных операционных систем (Linux, Windows)
- Разработать алгоритм распределения вычислительных заданий между различными узлами, обладающими разным объемом доступных вычислительных ресурсов
- Реализовать алгоритм оценки доступности ресурсов каждого вычислительного узла: ресурсы процессора, объем оперативной памяти и скорость работы с дисковой памятью общего доступа
- На основе разработанной технологии реализовать решение сложной ресурсоемкой задачи: обработка массива многовременных радиолокационных измерений по методу интерферометрии постоянных отражателей

Вычислительный узел

Этапы интерферометрической обработки данных многопроходной съемки:

- построение графа интерферограмм
- расчет дифференциальных интерферограмм
- выбор постоянных отражателей
- расчет высот и смещений земной поверхности
- геокодирование результатов

Необходимые вычислительные операции

- базовые матричные и векторные операции
- операции линейной алгебры
- обработка сигналов

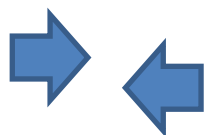
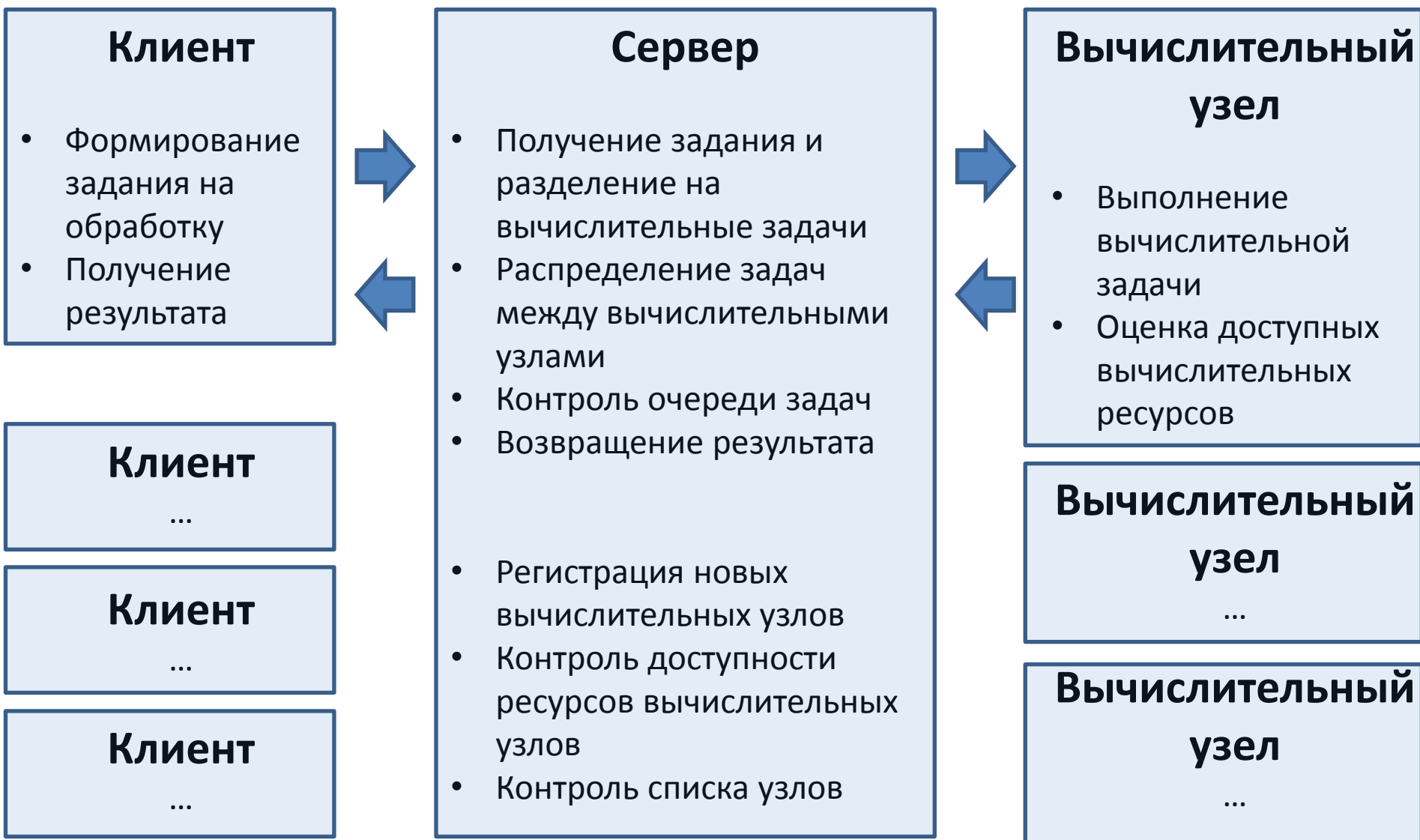
Доступные библиотеки

- Последовательные вычисления: BLAS, LAPACK, FFTW
- Параллельные вычисления: OpenBLAS, ATLAS, **MKL**

Реализация на C++

- Кросс-платформенная оболочка для обработки матриц FMATRIX, приближенная к синтаксису MATLAB.
- Комплекс подпрограмм для интерферометрической обработки радарных данных с поддержкой параллельной обработки на основе стандарта OpenMP.

Система распределенной обработки



-- обмен сообщениями в виде файлов в формате XML

Тестирование

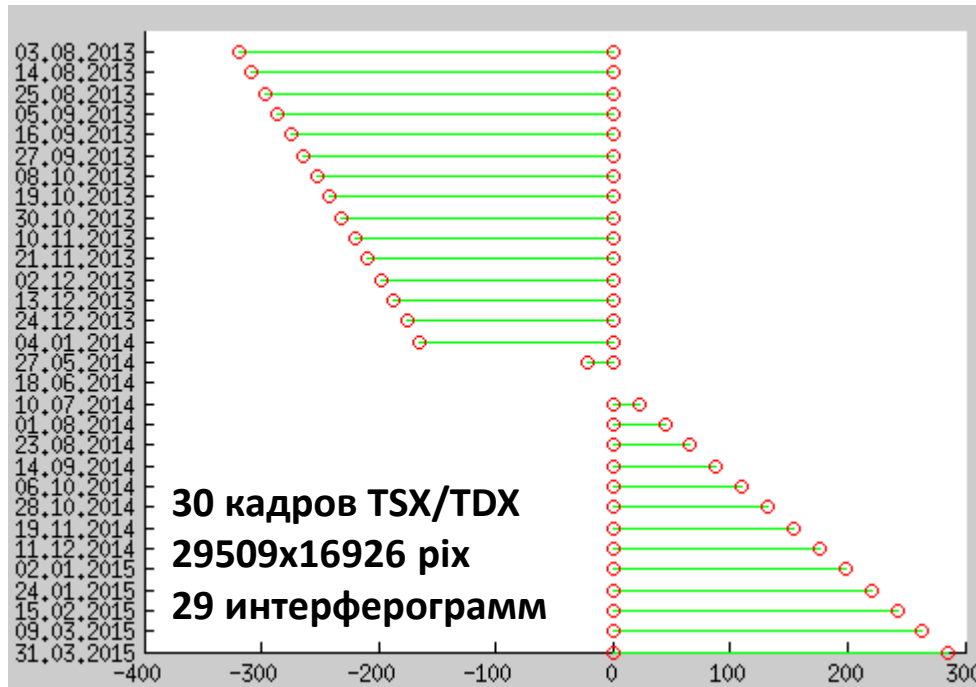
- Перемножение 2 матриц по 50000x50000 элементов (вещественных двойной точности)
- Расчет дифференциальных интерферограмм для метода постоянных отражателей (PSI)
- Расчет $(N^2-N)/2$ дифференциальных интерферограмм

Вычислительные узлы:

4 рабочих станции Fujitsu Siemens (1 Linux + 3 Windows)

- 4-х ядерный процессор Intel Xeon 3.2 GHz +HyperThreading
- 12 GB оперативной памяти
- локальная сеть 1Gb

Тест 2: Расчет дифференциальных интерферограмм для метода PSI



Этапы

- совмещение кадров на основе орбитальных параметров и кросс-корреляции
- пересчет slave-кадра в координаты master
- расчет интерферограммы
- расчет топографической фазы на основе опорной ЦММ ASTER GlobalDEM
- расчет дифференциальной интерферограммы

Обработка на единственном узле без использования распределенной обработки (8 потоков, 10Гб ОП) – 21 час (1251 минута)

SARScare – 21 час (1276 минут)

Распределенная обработка (каждый узел 6 потоков, 6Гб ОП)

2 узла – 11 часов (671 минута)

3 узла – 7,5 часов (452 минуты)

4 узла – 6 часов (349 минут)

Тест 3: Расчет дифференциальных интерферограмм

Расчет 435 дифференциальных интерферограмм, включая:

- расчет интерферограммы
- расчет топографической фазы на основе опорной ЦММ ASTER GlobalDEM
- расчет дифференциальной интерферограммы

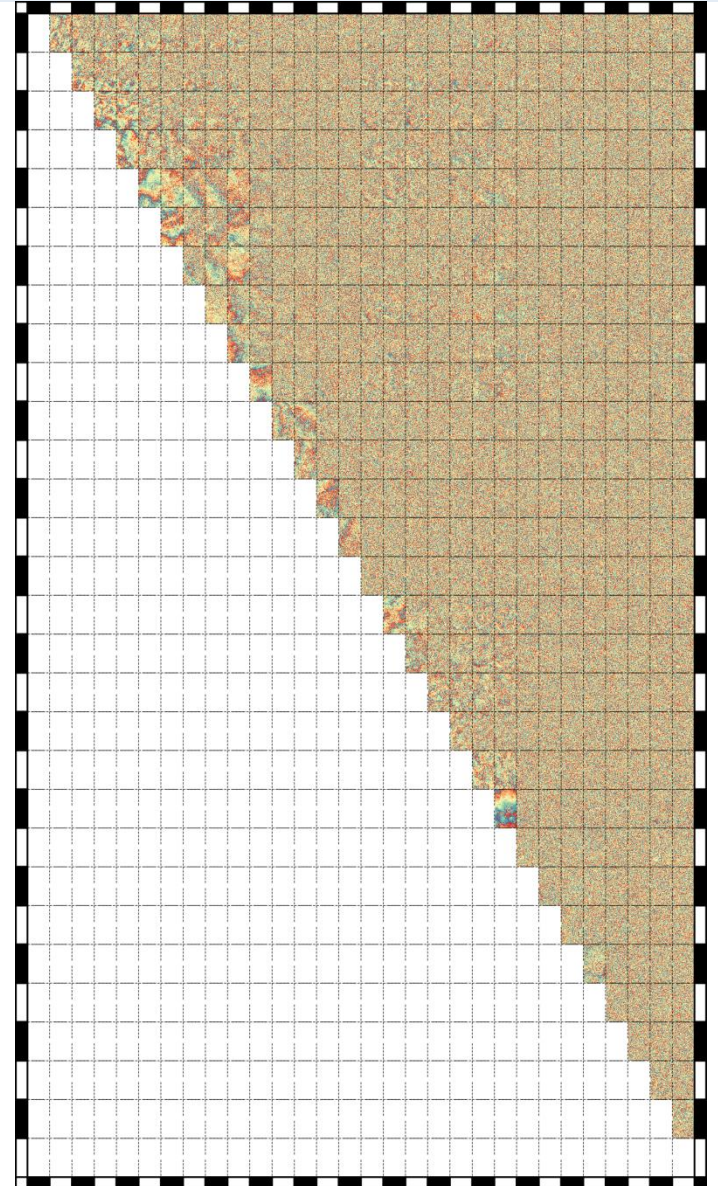
1 узел – 74 часа (4429 минут)

Распределенная обработка

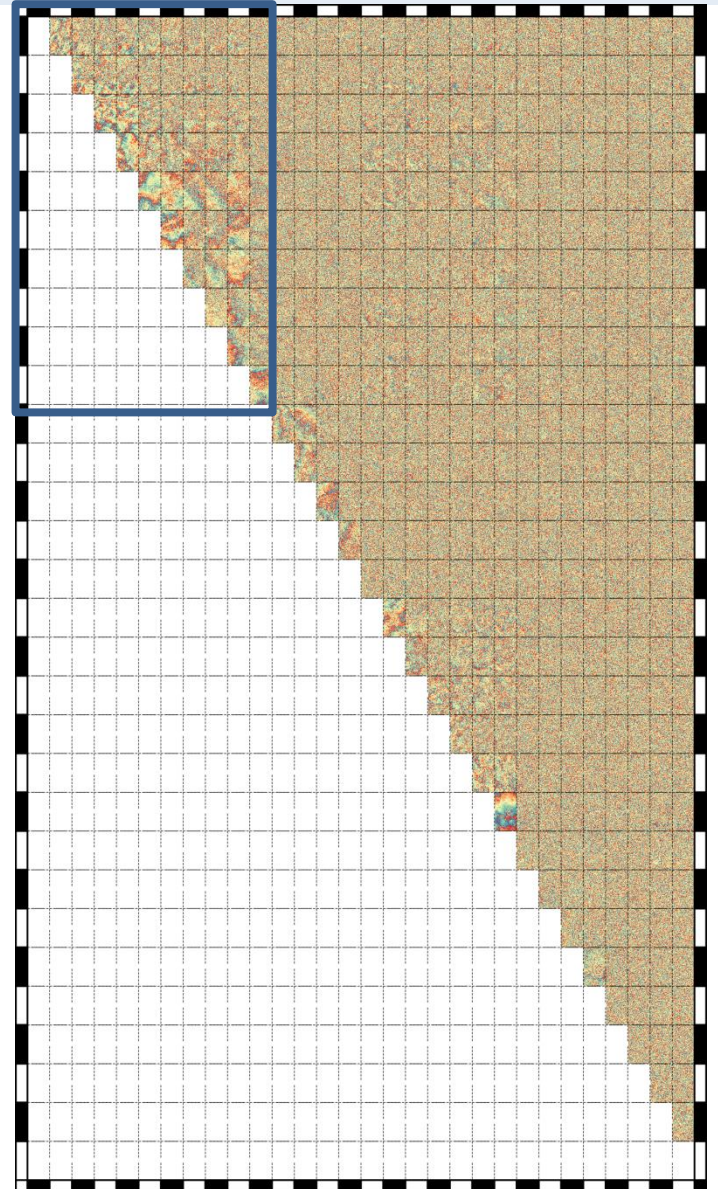
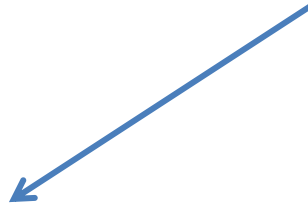
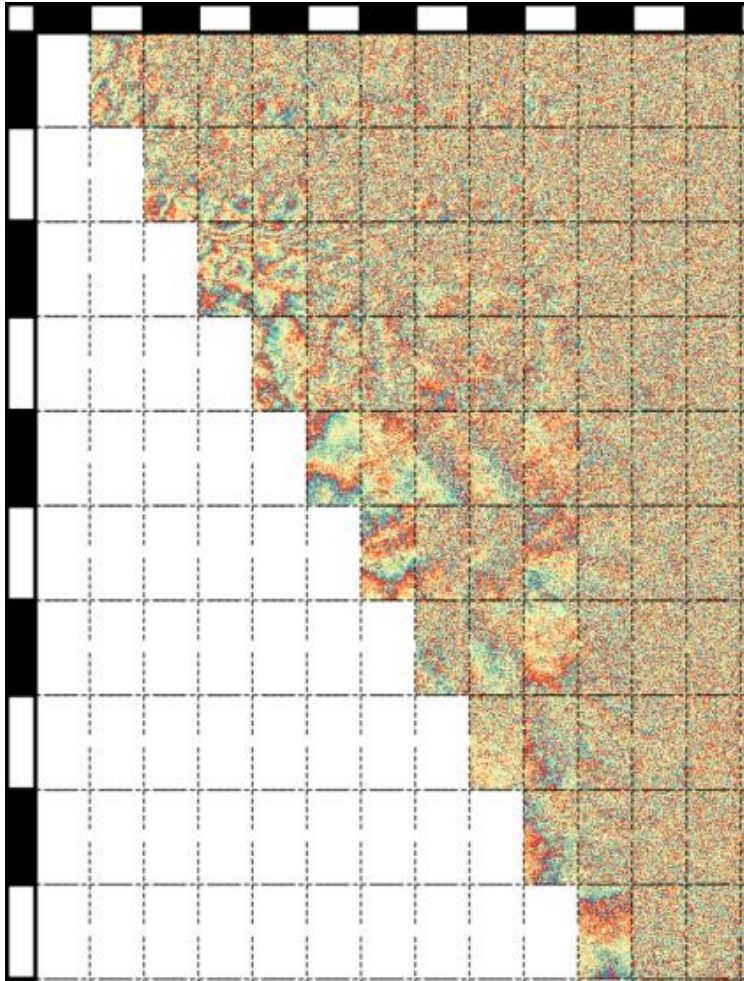
2 узла – 55 часов (3291 минута)

3 узла – 41 час (2453 минуты)

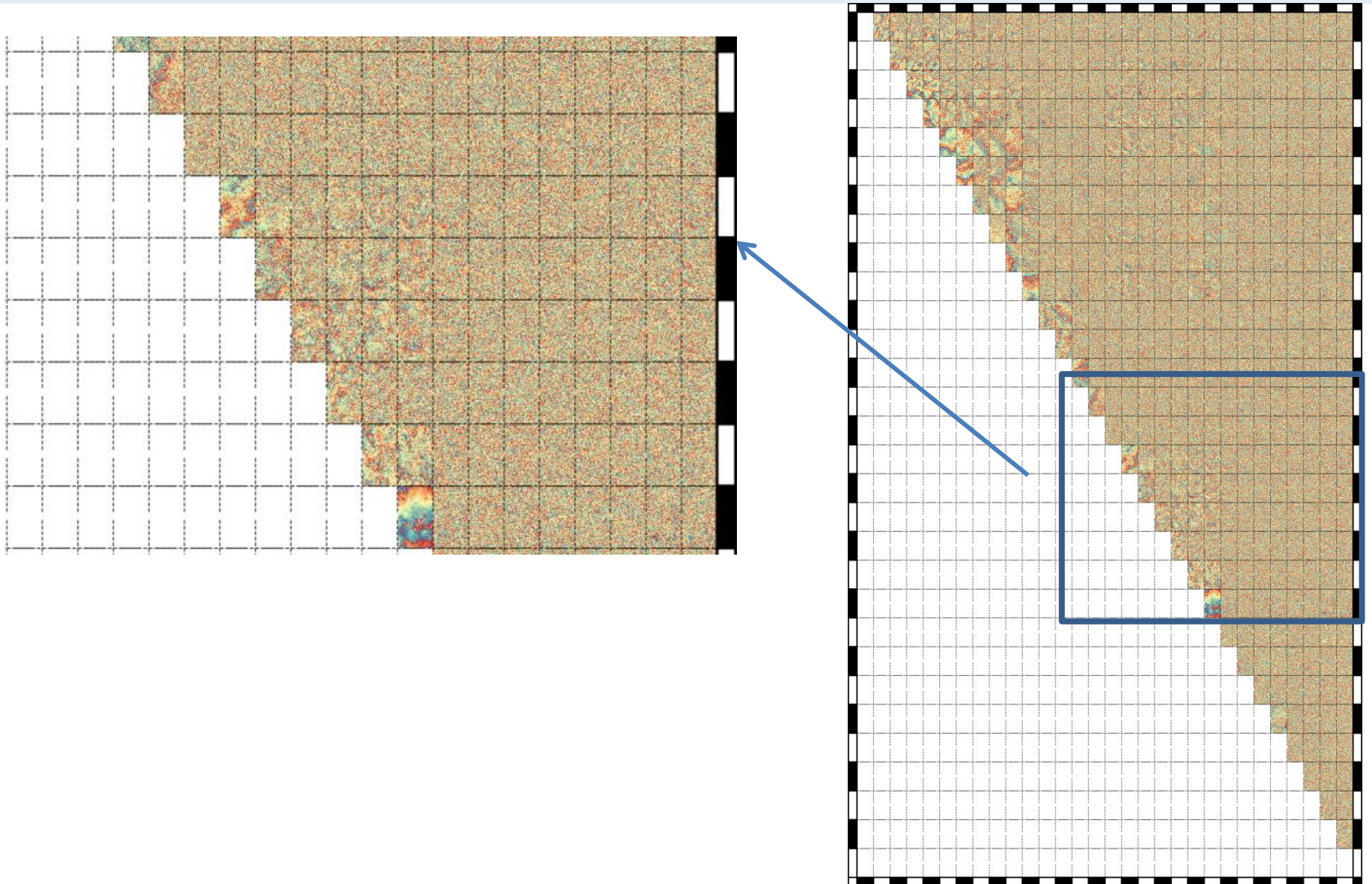
4 узла – 30 часов (1811 минут)



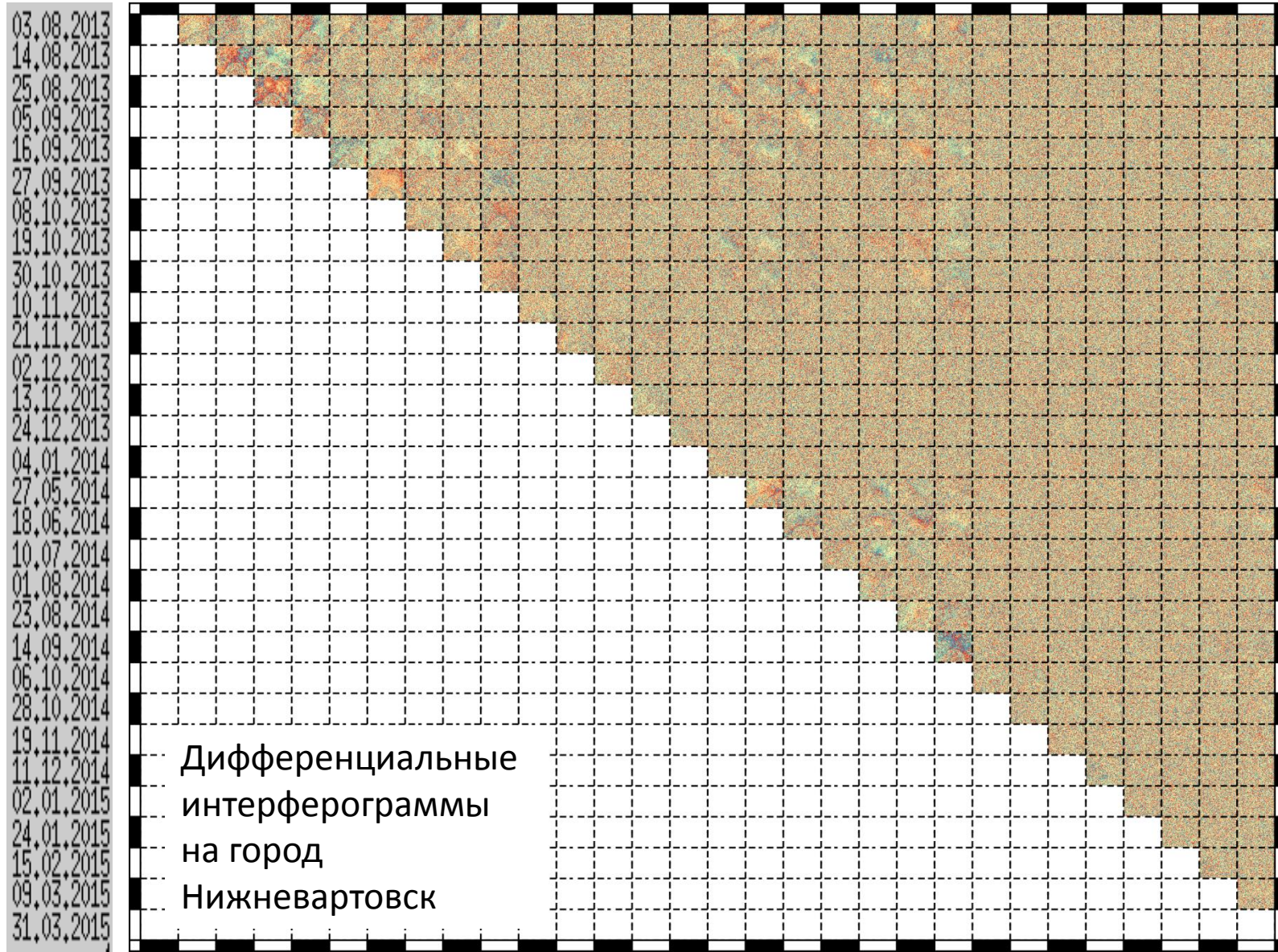
Тест 3: Расчет дифференциальных интерферограмм



Тест 3: Расчет дифференциальных интерферограмм



Тест 3: Расчет дифференциальных интерферограмм



Заключение

Разработана и реализована система распределенной обработки спутниковых радиолокационных данных

Разработано программное обеспечение для интерферометрической обработки радарных данных

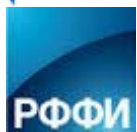
- Импорт радиолокационных данных в формате SLC: ALOS, ALOS-2, TerraSAR-X/TanDEM-X, Cosmo-SkyMed
- Интерферометрическая обработка, включая совмещение исходных снимков, расчет дифференциальной интерферограммы и когерентности



Грант German Aerospace Center (DLR) GEO1978



Грант Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) PI1070



Грант Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) 16-37-00224